

*Robert Łukawski, Wiesław Golka
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku*

IDENTYFIKACJA EFEKTU MIESZANIA GLEBY W PROCESIE POWIERZCHNIOWEJ UPRAWY Z WYKORZYSTANIEM DYNAMICZNEJ ANALIZY OBRAZU 3D

Streszczenie

W pracy przedstawiono oryginalną filmową technikę badawczą, zastosowaną w celu polepszenia jakości pracy narzędzi talerzowych na głębokościach zbliżonych do głębokości siewu. Z przeglądu literatury wynika, że dotychczas stosowane techniki filmowe nie nadają się do wykorzystania w metodzie identyfikacji efektu mieszania gleby w procesie powierzchniowej uprawy. Przyjęto, że aby osiągnąć założony cel, należy użyć zapisu z dwóch kamer pracujących w cyfrowym zestawie do zdjęć szybkich. W tym celu rozbudowano istniejący zestaw aparatury badawczej kanału glebowego w Mazowieckim Ośrodku Badawczym ITP w Kłudzienku. Do przeprowadzenia badań weryfikacyjnych na polu zaprojektowano i wykonano specjalną konstrukcję nabudowaną na korpus badanej brony talerzowej. Wstępne badania wykazały, że zastosowanie tej metody do identyfikacji torów cząstek gleby odkrawanej narzędziem talerzowym, w zależności od kąta ustawienia talerza i prędkości postępowej, wydaje się właściwe.

Słowa kluczowe: stanowisko badawcze, kamery do zdjęć szybkich, przemieszczanie cząstek gleby, kanał glebowy

Wstęp

W ostatnich latach wysokonakładowe rolnictwo intensywne i przemysłowe zaczyna ustępować na rzecz rolnictwa zrównoważonego i ekologicznego. Oznacza to m.in. większe wymagania odnośnie do istniejących systemów uprawy gleby. Poza głównym celem uprawy, jakim jest zapewnienie optymalnych warunków dla materiału siewnego uprawianych roślin, pojawił się wymóg respektowania potrzeb środowiska naturalnego.

Te oczekiwania spełnia tzw. uprawa konserwująca lub zachowawcza, w której intensywność oddziaływania na glebę jest ograniczana w sposób uwzględniający aktywność biologiczną gleby i roślin. Jest to system uprawy z wykorzystaniem mulczowania, mający na celu ochronę gleby przed degradacją oraz zachowanie jej produktywności [Weber 2010].

W procesie powierzchniowej, mulczującej uprawy gleby, wykorzystywane są obecnie narzędzia o różnej konstrukcji, m.in. brony talerzowe.

W uprawie zachowawczej, w której eliminując orkę pozostawiono znaczne ilości resztek roślinnych na powierzchni gleby, brony talerzowe umożliwiają płytkie podcięcie i spulchnienie gleby. Ostatnio coraz częściej są również wykorzystywane w dwufazowej, ekologicznej uprawie ściernisk. Dzięki temu eliminuje się użycie herbicydów. Brony talerzowe umożliwiają także równomierną i płytką uprawę wraz z mulczowaniem, sprzyjającą szybkim wschodom chwastów oraz osypanych podczas zbiorów nasion.

W zrównoważonym i ekologicznym rolnictwie brony talerzowe pracują w bardzo zróżnicowanych warunkach. Zalicza się do nich m.in.: głębokość uprawy gleby; prędkość roboczą narzędzi; gatunek, wilgotność i długość oraz masę resztek roślinnych na powierzchni gleby oraz warunki glebowo-wilgotnościowe [Ptaszyński 2008]. Duża liczba zmiennych czynników powoduje, że na rynku maszyn rolniczych pojawia się coraz więcej różnych konstrukcji tych bron. Występują w dwóch wersjach: klasycznej i kompaktowej. Spotyka się też dużą różnorodność kształtu i średnicy talerzy.

Brony pracują w szerokim zakresie regulacji kąta natarcia i kąta pochylenia krawędzi talerzy. Postęp w doskonaleniu jakości pracy i konstrukcji bron talerzowych nie jest jednak możliwy bez poszerzania wiedzy o wpływie wszystkich wymienionych wcześniej czynników na jakość mieszania resztek organicznych z glebą. Próbę wzbogacenia tej wiedzy podjęto w niniejszym opracowaniu.

Celem niniejszej pracy było uzyskanie metody identyfikacji efektu mieszania w procesie zachowawczej uprawy gleby z wykorzystaniem dynamicznej analizy obrazu stereoskopowego.

Przegląd dostępnych technik badawczych

W badaniach procesów technologicznych coraz częściej zachodzi konieczność rejestracji szybkich zmian mierzonych wielkości. W większości tych przypadków mierzone parametry fizyczne są przetwarzane na wielkości elektryczne za pomocą różnego typu czujników pomiarowych. Do rejestracji tych wielkości stosuje się szybkie przetworniki analogowo-cyfrowe. Taka rejestracja nie nastęrcza większych trudności technicznych. Problemy pojawiają się, gdy celem rejestracji szybkodziennych procesów staje się zapis filmowy. Mamy tu bowiem do zapisania dwojaką informację. Pierwsza to informacja jakościowa, potrzebna do identyfikacji obiektu i ewentualnie do jego oceny jakościowej, druga – to informacja ilościowa, opisująca liczbowo wybrane cechy analizowanego obiektu.

Aby uzyskać taki zapis informacji stosuje się tzw. technikę zdjęć szybkich. To specjalna technika filmowania, w której do niedawna wykorzystywano kamery negatywowe pracujące w różnych systemach gęstego zapisu klatkowego. Uzyskiwano na ogół efekt kilkuset klatek obrazowych, zarejestrowanych w ciągu jednej sekundy. Analiza tak naświetlonych sekwencji filmowych wymagała pracochłonnej obróbki chemicznej, a na koniec użycia specjalnej aparatury projekcyjnej.

Taki system filmowania jest jednak niekompatybilny z szybko rozwijającą się techniką cyfrowej analizy obrazu, zwaną również komputerową, polegającą na przesyłaniu i analizie obrazu drogą elektroniczną. Obraz, rejestrowany za pomocą elektronicznego urządzenia analogowego, po przetworzeniu do postaci cyfrowej jest przesyłany do komputera i na monitor. Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie, jako urządzenia rejestrującego, kamery pracującej w formacie cyfrowym, która góruje nad analogową szybkością transmisji i jakością obrazu. Szczytowym osiągnięciem tej techniki jest możliwość filmowania z zapisem od kilkudziesięciu do kilku tysięcy ramek obrazowych na sekundę.

Trudno byłoby przecenić znaczenie elektronicznego i cyfrowego zapisu obrazu filmowego i możliwości jego analizy w inżynierii rolniczej. Taką analizę można przeprowadzać pod kątem jakościowym i ilościowym. Analiza jakościowa pozwoli w sposób obiektywny przeprowadzić obserwację badanego procesu i ocenić ogólny jego przebieg. Analiza ilościowa pozwoli zmierzyć drogę analizowanego obiektu w czasie, określić jego przyspieszenie, przestrzenny rozkład analizowanych elementów itp. W tej analizie oś czasu może być wydłużona (zdjęcia kamerą szybką) lub skrócona (zdjęcia kamerą poklatkową lub fotograficzne) [Walczyk 2005].

Zastosowanie różnych technik filmowych w inżynierii rolniczej można przedstawić stosując podział na pięć grup:

- I. Zastosowanie standardowej kamery do rejestracji i monitorowania badań lub prezentacji wyników – przykłady:
 1. Efekty zastosowania technik wideokomputerowych w doskonaleniu obsługi krów mlecznych [Gaworski 2005].
 2. Efekty wykorzystania techniki filmowej w analizie podłoży legowiskowych dla krów mlecznych [Gaworski 2003].
 3. Technika cyfrowa w prezentacji wyników badań w zakresie technologii maszynowego pozyskiwania zrębków energetycznych [Różański i in. 2003].

- II. Zastosowanie standardowej kamery lub cyfrowego aparatu fotograficznego do analizy pojedynczych klatek obrazowych – przykłady:
 1. Innowacyjna metoda rozpoznawania wybranych cech jakościowych nasion z wykorzystaniem analizy obrazu i sztucznych sieci neuronowych (SSN) [Szwedziak 2009].

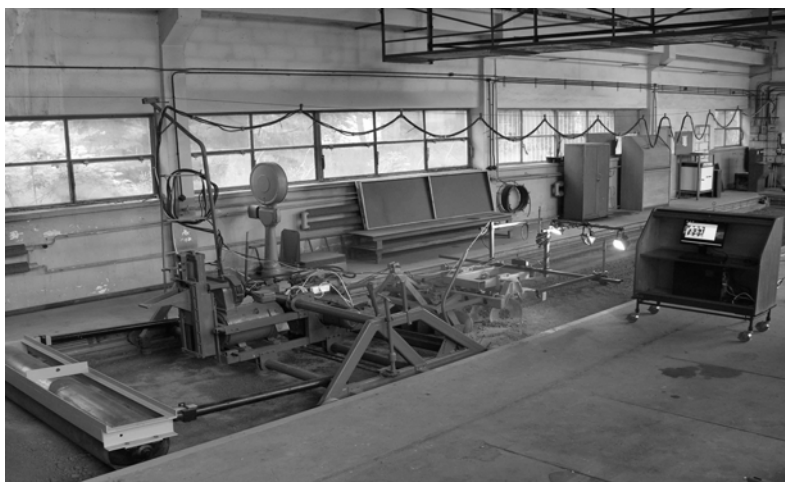
2. Neuronowy model do identyfikacji makrouszkodzeń ziemniaków [Nowakowski, Boniecki 2008].
 3. Zastosowanie technik informatycznych do oceny dojrzewania i starzenia się organów roślinnych [Rut, Szwedziak 2008].
 4. Komputerowa analiza obrazu w ocenie mieszania układów ziarnistych (system funnel-flow) [Matuszek, Tukiendorf 2007].
 5. Adaptacja funkcji geostatycznej do analizy przestrzennego rozkładu dwuskładnikowej mieszaniny ziarnistej [Kokoszka i in. 2007].
 6. Wpływ wielokrotnych przejazdów ciągnika na odkształcanie gleby w strefie kolejiny przejazdu [Powałka, Buliński 2006].
 7. Stanowisko do komputerowej analizy jakości produktów rolno-spożywczych [Szwedziak, Krótkiewicz 2006].
 8. Określenie czystości ziarna konsumpcyjnego za pomocą komputerowej analizy obrazu [Tukiendorf i in. 2006].
 9. Wykorzystanie metody komputerowej analizy obrazu w ocenie stanu liści na przykładzie klonu pospolitego [Królczyk, Tukiendorf 2006].
 10. Technika filmowa w badaniach aeracji pulweryzacyjnej [Konieczny, Podsiadłowski 2005].
- III. Zastosowanie kamer termowizyjnych – przykład:
Zastosowanie termowizji w badaniach eksploatacyjnych maszyn rolniczych [Bieniek i in. 2006].
- IV. Zastosowanie kamer do zdjęć szybkich – przykłady:
1. Wpływ czynników uprawowych i odmianowych ziemniaków na cechy fizyczne bulw, istotne w procesie zbioru i obróbki pozbiorowej plonu [Klamka 2010].
 2. Analiza pracy siewnika Agricola Italiana z zastosowaniem techniki filmowej [Walczyk 2005].
 3. Film jako instrument w badaniach sprężystości nasion [Tylek, Walczyk 2003].
 4. Analiza pracy spulchniacza obrotowego w glebie [Miszczak 1998].
- V. Zastosowanie różnych technik filmowych do digitalizacji obiektów przestrzennych – przykłady:
1. Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion [Frączek, Wróbel 2009].
 2. Automatyczna analiza wielkości i kształtu ziaren 3D z zastosowaniem analizatorów optyczno-elektronicznych [Kamiński i in. 2008].
 3. Zastosowanie metod wideokomputerowych do uzyskania trójwymiarowego odwzorowania powierzchni kontaktu opony z podłożem odkształcalnym w warunkach laboratoryjnych [Kormanek, Walczyk 2005].
 4. Badanie filmowe bryły glebowej odkształcanej przez wąskie narzędzie uprawowe [Piotrowska 2003].
 5. Wykorzystanie elementów analizy obrazu w modelowaniu kształtu nasion [Frączek 2003].

6. Bezstykowa metoda pomiarów obiektów przestrzennych za pomocą fotografii cyfrowej i obróbki komputerowej [Miszczak, Kuczewski 2001].

Z powyższego przeglądu technik filmowych wynika, że brak jest rozwiązań, które można by wykorzystać w badaniach identyfikacji efektu mieszania gleby w uprawie zachowawczej. Znane opracowania nie umożliwiają bowiem wyliczenia torów przemieszczania się cząstek gleby w przekroju odkładanej skiby. Nie pozwalają również wyznaczyć toru masy zalegającej na powierzchni. Brakuje opracowań dotyczących pracy talerzy z nieciągłym obrzeżem. Dlatego, aby poznać te zagadnienia, poszukiwano nowej i skutecznej metody rejestracji współrzędnych cząstek gleby odkrawanych eksperymentalnymi talerzami w warunkach rzeczywistych.

Metoda badawcza oraz badania sprawdzające

Przyjęto, że aby osiągnąć założony cel należy użyć zapisu z dwóch kamer pracujących w cyfrowym zestawie do zdjęć szybkich, zamontowanym w kanale glebowym Mazowieckiego Ośrodka Badawczego ITP w Kłudzienku (fot. 1).



Źródło: fot. R. Łukawski. Source: photo by R. Łukawski.

*Fot. 1. Stanowisko badawcze na kanale glebowym MOK-ITP w Kłudzienku
Photo 1. Testing stand installed in the soil bin at Mazovian Research Center, Kłudzienko*

Oś optyczna jednej kamery jest możliwie bliska prostopadłej do kierunku ruchu narzędzia, a drugiej kamery – znajduje się w pozycji zbliżonej do równoległej. Nie jest to w pełni trójwymiarowa rejestracja obrazu, ale w podany sposób uzyskano oryginalny, stereoskopowy układ pomiarowy. Dane telemetryczne płynące z równoczesnej analizy obrazu obu kamer umożliwiają skuteczne przeprowadzenie pomiarów.

Tak opracowaną metodę rejestracji współrzędnych cząstek gleby odkrawanych eksperymentalnymi talerzami, testowano na kanale glebowym. Pozytywne wyniki pozwoliły na jej dalsze doskonalenie. Rozwiązano problem pomiaru rzeczywistej pozycji punktów na płaszczyźnie obrazowej przy widoku z nieprostokątnego ustawienia kamer. Opracowano algorytm, który wymagał napisania odpowiedniego programu komputerowego, kompatybilnego ze specjalistyczną aplikacją do rejestracji szybkich sekwencji obrazowych, zapisywanych jednocześnie z obu kamer. W ten sposób powstał program pomiarowy umożliwiający zapis i analizę trójwymiarową z płynnie regulowaną prędkością, dochodzącą maksymalnie do 200 klatek na sekundę.

Aby móc przeprowadzać badania weryfikacyjne na polu, zaprojektowano i wykonano specjalną konstrukcję do mocowania kamer oraz reflektorów światła, nabudowaną na korpus brony talerzowej. Dzięki systemowi budowy modułowej, konstrukcja ta umożliwiła dowolne usytuowanie kamer w stosunku do elementów roboczych brony. Obie kamery zamontowano w pyłoszczelnych obudowach. Specjalistyczne kable dostarczają i odbierają sygnały wysokiej częstotliwości oraz podają zasilanie do kamer i reflektorów (fot. 2).



Źródło: fot. R. Łukawski. Source: photo by R. Łukawski.

*Fot. 2. Stanowisko do badań w warunkach polowych
Photo 2. Testing stand under field conditions*

Jednocześnie zaprojektowano i wykonano stanowisko do przewożenia i obsługi zestawu komputerowego w warunkach polowych. Z uwagi na konieczność użycia komputera o bardzo dużej mocy obliczeniowej niemożliwe było wykorzystywanie do tego celu laptopa. Stanowisko komputerowe połączono z broną specjalnie wykonanym pięćdziesięciometrowym, giętkim kablem wielożyłowym, wyposażonym w przewód prądowy oraz przewody klasy Ethernet.

Z uwagi na kończący się okres agrotechniczny oraz szczególnie niesprzyjającą aurę, możliwe było tylko wstępne przeprowadzenie testów i pierwszych badań polowych.

Mimo to, udało się w pełni potwierdzić dużą przydatność opracowanej metody oraz stanowiska badawczego. Badania w warunkach polowych dostarczyły duży zbiór sekwencji obrazowych, będących materiałem wyjściowym do dalszej pracy nad samą metodą wyznaczania trajektorii mas glebowych. Sekwencje te rejestrują w sposób synchroniczny dwa widoki jednego pola pracy narzędzia oraz ruch mas glebowych w wyniku przyłożenia narzędzia.

Aktualne oprogramowanie, implementujące proste wyliczanie trajektorii, pozwala na ręczne przetworzenie danego obiektu (grudka, kamień, marker) w polu widzenia kamer, najpierw na pary punktów obrazowych dla dwóch widoków kamer, a następnie na rzeczywiste koordynaty przestrzenne. Użytkowano także ostateczny wynik w postaci trajektorii 3D wybranego obiektu.

Podsumowanie

Przyjęta koncepcja stereoskopowej metody filmowej do badania efektu mieszania gleby jest rozwiązaniem nowatorskim. Podjęto w nim próbę ilościowego wyznaczenia charakterystyk ruchu masy glebowej, a nie tylko modelowej estymacji. Jeśli dalsze badania dadzą pozytywne rezultaty, powstanie niezwykle efektywne narzędzie do natychmiastowego wyznaczania charakterystyki pracy nowych konstrukcji narzędzi uprawowych.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że zastosowanie tej metody do identyfikacji torów cząstek gleby odcinanej narzędziem talerzowym, w zależności od kąta ustawienia talerza i prędkości postępowej, jest właściwe.

Wskazana jest kontynuacja tematu w kierunku opracowania algorytmów i aplikacji komputerowych, umożliwiających jednoczesny pomiar wielu punktów w przestrzeni. Pozwoli to na szybkie obliczanie istniejących między nimi odległości i powstałych kątów. Należy też podjąć próbę uzyskania aplikacji do automatycznego liczenia obserwowanych powierzchni i objętości.

Bibliografia

- Bieniek J., Banasiak J., Komarnicki P. 2006. Zastosowanie termowizji w badaniach eksploatacyjnych maszyn rolniczych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 12 s. 17–24.
- Frączek J. 2003. Wykorzystanie elementów komputerowej analizy obrazu w modelowaniu kształtu nasion. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 s. 65–69.
- Frączek J., Wróbel M. 2009. Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 6 s. 87–94.

- Gaworski M. 2003. Efekty wykorzystania techniki filmowej w analizie podłoża legowiskowych dla krów mlecznych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 s. 71–78.
- Gaworski M. 2005. Efekty zastosowania technik wideokomputerowych w doskonaleniu obsługi krów mlecznych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10 s. 91–97.
- Kamiński S., Kamińska D. Trzciński J. 2008. Automatyczna analiza wielkości i kształtu ziaren 3D z zastosowaniem analizatorów optyczno-elektronicznych. Materiały konferencyjne. 11th Baltic Sea Geotechnical Conference 2008. Gdańsk s. 6.
- Kokoszka P., Królczyk J., Tukiendorf 2007. Adaptacja funkcji geostatycznej do analizy przestrzennego rozkładu dwuskładnikowej mieszaniny ziarnistej. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 2 s. 101–107.
- Konieczny R., Podsiadłowski S. 2005. Technika filmowa w badaniach aeracji pulweryzacyjnej. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10 s. 189–197.
- Kormanek M., Walczyk J. 2005. Zastosowanie metod wideokomputerowych do uzyskania trójwymiarowego odwzorowania powierzchni kontaktu opony z podłożem odkształcalnym w warunkach laboratoryjnych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10 s. 199–208.
- Królczyk J., Tukiendorf M. 2006. Wykorzystanie metody komputerowej analizy obrazu w ocenie stanu liści na przykładzie klonu pospolitego (*Acer Platanoides*). *Inżynieria Rolnicza*. Nr 5 s. 349–353.
- Matuszek D., Tukiendorf M. 2007. Komputerowa analiza obrazu w ocenie mieszania układów ziarnistych (system funnel-flow). *Inżynieria Rolnicza*. Nr 2 183–188.
- Miszczak M. 1998. Analiza pracy spulchniacza obrotowego w glebie. Warszawa. Wydaw. SGGW ss. 77.
- Miszczak M., Kuczewski J. 2001. Bezstykowa metoda pomiarów obiektów przestrzennych za pomocą fotografii cyfrowej i obróbki komputerowej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 83–90.
- Nowakowski K., Boniecki P. 2008. Neuronowy model do identyfikacji makro-uszkodzeń ziemniaków. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. Vol. 53(2) s. 79–81.
- Piotrowska E. 2003. Badania filmowe bryły glebowej odkształcanej przez wąskie narzędzie uprawowe. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 s. 173–178.
- Powałka M., Buliński J. 2006. Wpływ wielokrotnych przejazdów ciągnika na odkształcanie gleby w strefie koleiny przejazdu. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 4 s. 111–118.
- Ptaszyński S. 2008. Opracowanie rozwiązań technicznych i organizacyjno-ekonomicznych dla rolnictwa ekologicznego. Sprawozdanie IBMER. Maszynopis ss. 19.

Różański H., Jabłoński K., Chlebowski K. 2003. Technika cyfrowa w prezentacji wyników badań w zakresie technologii maszynowego pozyskiwania zrębków energetycznych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 s. 187–193.

Rut J., Szwedziak K. 2008. Zastosowanie technik informatycznych do oceny dojrzewania i starzenia się organów roślinnych. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. Vol. 53(2) s. 66–68.

Szwedziak K. 2009. Innowacyjna metoda rozpoznawania wybranych cech jakościowych nasion z wykorzystaniem analizy obrazu i sztucznej sieci neuronowych (SSN). Rozprawa habilitacyjna. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 4 ss. 54.

Szwedziak K., Krótkiewicz M. 2006. Stanowisko do komputerowej analizy jakości produktów rolno-spożywczych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 13 s. 429–434.

Tukiendorf M., Szwedziak K., Sobkowicz J. 2006. Określenie czystości ziarna konsumpcyjnego za pomocą komputerowej analizy obrazu. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 12 s. 519–525.

Tylek P., Walczyk J. 2003. Film jako instrument w badaniu sprężystości nasion. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 s. 223–228.

Walczyk J. 2005. Analiza pracy siewnika *Agricola Italiana* z zastosowaniem techniki filmowej. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10 s. 395–402.

Weber R. 2010. Wpływ okresu stosowania systemów bezpłuznych na właściwości gleby. *Postępy Nauk Rolniczych*. Nr 1 s. 63–75.

IDENTIFICATION OF SOIL MIXING EFFECT IN THE PROCESS OF SURFACE TILLAGE WITH THE USE OF DYNAMIC 3D IMAGE ANALYSIS

Summary

Paper described the original research method applied to improve the tillage quality of disc implements working at depth approximate to that of sowing operation. The specialistic literature review showed that there is not existing any film technique suitable to use in method of identifying soil mixing effect in the process of surface tillage. It was assumed that in order to achieve desirable goals is necessary to use two cameras working in quick shot digital system. For this purpose expanded set of test equipment installed in soil bin at Mazovian Research Center, Kłudzienko. Co-operating professional firm supplied the equipment to construction of the testing stand in soil bin to carry out the quick shot tests, using at first one, and next two cameras. To verify the laboratory test results in field, a special construction was designed and built to fix both, two cameras and lighting. The construction was installed on the body of rotary harrow. Preliminary tests showed that application of de-

scribed method seems to be usable to identification of soil particle trajectories, when soil is being cut off by a disc implement, depending on the disc setting angle and forward speed as well.

Key words: test stand, soil bin, high speed camera, displacement of soil particles, surface tillage

Praca wpłynęła do Redakcji: 08.02.2011 r.

*Recenzenci: prof. dr hab. Józef Horabik
prof. dr hab. Aleksander Szeptycki*

Adres do korespondencji:

mgr inż. Robert Łukawski
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku
05-825 Kłudzienko
tel. 22 755-50-16 w. 107; e-mail: r.lukawski@itep.edu.pl